

NORME ISO
INTERNATIONALE 16610-29

Deuxième édition
2020-04

**Spécification géométrique des
produits (GPS) — Filtrage —**

**Partie 29:
Filtres de profil linéaires: ondelettes**

Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —

Part 29: Linear profile filters, wavelets
iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 16610-29:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020>



Numéro de référence
ISO 16610-29:2020(F)

© ISO 2020

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 16610-29:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2020

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Description générale des ondelettes	4
4.1 Généralités.....	4
4.2 Utilisation élémentaire des ondelettes.....	4
4.3 Transformation en ondelettes.....	5
4.4 Ondelettes biorthogonales.....	6
4.4.1 Généralités.....	6
4.4.2 Ondelettes de prédiction cubiques.....	6
4.4.3 Ondelettes b-splines cubiques.....	6
5 Désignation de filtre	6
Annexe A (normative) Ondelettes de prédiction cubiques	7
Annexe B (normative) Ondelettes b-splines cubiques	15
Annexe C (informative) Relation avec le modèle de matrice de filtrage	18
Annexe D (informative) Relation avec le modèle de matrice GPS	19
Bibliographie	20

[ISO 16610-29:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/patents).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/foreword.html.

Le présent document a été élaboré par le Comité technique ISO/TC 213, *Spécifications et vérification dimensionnelles et géométriques des produits*, en collaboration avec le Comité Technique du Comité Européen pour la Normalisation (CEN) CEN/TC 290, *Spécification dimensionnelle et géométrique des produits, et vérification correspondante*, conformément à l'Accord sur la coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 16610-29:2015), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principaux changements par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

- la terminologie et les exigences autour des ondelettes ont été clarifiées et étendues pour mieux couvrir les ondelettes biorthogonales;
- les exigences pour les ondelettes de prédiction cubiques ont été définies en Annexe A;
- les exigences pour les ondelettes b-splines cubiques sont données en Annexe B.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 16610 est disponible sur le site Internet de l'ISO.

Il convient d'adresser tout retour d'information ou questions sur le présent document à l'organisme national de normalisation de l'utilisateur. Une liste exhaustive de ces organismes peut être trouvée à l'adresse www.iso.org/members.html.

Introduction

Le présent document traite de la spécification géométrique des produits (GPS) et est à considérer comme une norme GPS générale (voir l'ISO 14638). Elle influence les maillons C et F de la chaîne de normes concernant l'état de surface du profil et surfacique.

Le modèle de matrice ISO GPS de l'ISO 14638 donne une vue d'ensemble du système ISO/GPS dont le présent document fait partie. Les règles fondamentales du système ISO fournies dans l'ISO 8015 s'appliquent au présent document et les règles de décision par défaut indiquées dans l'ISO 14253-1 s'appliquent aux spécifications élaborées conformément au présent document, sauf indication contraire.

Pour de plus amples informations sur la relation du présent document avec les autres normes et le modèle de matrice GPS, voir l'[Annexe D](#).

Le présent document expose également la terminologie et les concepts des ondelettes.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 16610-29:2020](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 16610-29:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-627cad1ebf47/iso-16610-29-2020>

Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

Partie 29:

Filtres de profil linéaires: ondelettes

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les caractéristiques des ondelettes biorthogonales utilisées pour les profils ainsi que les concepts pertinents. Elle définit la terminologie de base pour les ondelettes biorthogonales à support compact, ainsi que leur usage.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 16610-1, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 1: Vue d'ensemble et concepts de base*

ISO 16610-20, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 20: Filtres de profil linéaires: Concepts de base*

ISO 16610-22, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 22: Filtres de profil linéaires: Filtres splines*

Guide ISO/IEC 99, *Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 16610-1, l'ISO 16610-20, l'ISO 16610-22 et l'ISO/IEC Guide 99 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et la CEI tiennent à jour des bases de données terminologiques pour la normalisation aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>

3.1

ondelette mère

fonction à une ou plusieurs variables qui forme le bloc de construction élémentaire pour l'analyse d'ondelettes, c'est-à-dire une expansion d'un signal/profil comme une combinaison linéaire d'ondelettes

Note 1 à l'article: Une ondelette mère qui en général s'intègre en donnant une valeur nulle, est localisée dans l'espace et a une largeur de bande finie. La [Figure 1](#) est un exemple d'ondelette mère à valeur réelle.

3.1.1 ondelette biorthogonale

ondelette dont la *transformation en ondelette* (3.3) associée est inversible mais pas nécessairement orthogonale

Note 1 à l'article: L'ondelette biorthogonale offre la possibilité de construire des fonctions d'ondelette symétriques, permettant un filtre linéaire à phase.

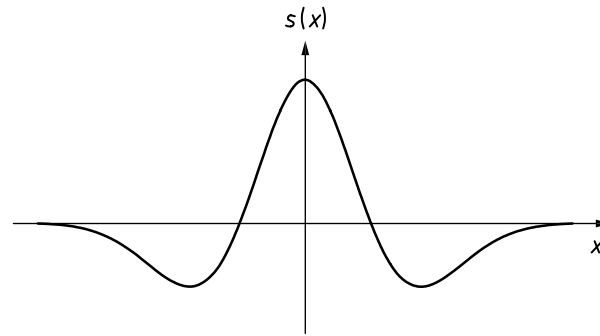


Figure 1 — Exemple d'ondelette mère à valeur réelle

3.2 famille d'ondelettes

$g_{\alpha,b}$
famille de fonctions obtenues à partir de l'ondelette mère (3.1) par *dilatation* (3.2.1) et *translation* (3.2.2)

Note 1 à l'article: Si $g(x)$ est l'ondelette mère (3.1), alors la famille d'ondelettes $g_{\alpha,b}(x)$ est obtenue comme indiqué dans la Formule (1):

$$g_{\alpha,b}(x) = \alpha^{-0,5} \times g\left(\frac{x-b}{\alpha}\right) \tag{1}$$

où

- α est le paramètre de dilatation pour l'ondelette dans la bande de fréquence $[1/\alpha, 2/\alpha]$;
- b est le paramètre de translation.

3.2.1 dilatation

transformation <de l'ondelette> qui consiste à changer l'échelle de la variable spatiale x d'un facteur α

Note 1 à l'article: Cette transformation appliquée à la fonction $g(x)$ donne $\alpha^{-0,5}g(x/\alpha)$ pour un nombre réel positif arbitraire α .

Note 2 à l'article: Le facteur $\alpha^{-0,5}$ maintient l'aire sous la fonction constante.

3.2.2 translation

transformation qui consiste à décaler la position spatiale d'une fonction d'un nombre réel b

Note 1 à l'article: Cette transformation appliquée à la fonction $g(x)$ donne $g(x - b)$ pour un nombre réel arbitraire b .

3.3 transformation en ondelette

décomposition unique d'un profil en une combinaison linéaire d'une famille d'ondelettes (3.2)

3.4 transformation en ondelette discrète DWT

décomposition unique d'un profil en une combinaison linéaire d'une *famille d'ondelettes* (3.2) où les paramètres de *translation* (3.2.2) sont des nombres entiers, et les paramètres de *dilatation* (3.2.1) sont des puissances d'un entier positif donné supérieur à 1

Note 1 à l'article: Les paramètres de dilatation sont en général des puissances de 2.

3.5 analyse multirésolution

décomposition d'un profil en portions à différentes échelles au moyen d'un banc de filtres

Note 1 à l'article: Les portions à différentes échelles sont aussi appelées résolutions (voir l'ISO 16610-20).

Note 2 à l'article: La multirésolution est aussi appelée multiéchelle.

Note 3 à l'article: Voir [Figure 2](#).

Note 4 à l'article: Par définition, comme aucune perte d'information ne se produit, il est possible de reconstruire le profil d'origine à partir de la *structure en échelle de multirésolution* (3.5.3).

3.5.1 composante passe-bas composante de lissage

composante d'une *analyse multirésolution* (3.5) obtenue après la convolution avec un filtre de lissage (passe-bas) et une *décimation* (3.5.6)

3.5.2 composante passe-haut composante différentielle

composante d'une *analyse multirésolution* (3.5) obtenue après la convolution avec un filtre différentiel (passe-haut) et une *décimation* (3.5.6)

Note 1 à l'article: La fonction de pondération du filtre différentiel est définie par l'ondelette issue d'une famille particulière d'ondelettes ayant un paramètre particulier de *dilatation* (3.2.1) et sans paramètre de *translation* (3.2.1).

Note 2 à l'article: Les coefficients de filtrage exigent l'évaluation d'une intégrale sur un espace continu sauf si une fonction complémentaire forme la base d'expansion du signal/profil.

3.5.3 structure en échelle de multirésolution

structure constituée de l'ensemble des ordres des composantes différentielles et de la composante de lissage ayant l'ordre le plus élevé

3.5.4 fonction d'échelle

fonction qui définit la fonction de pondération du filtre de lissage utilisé pour obtenir la composante de lissage

Note 1 à l'article: Afin d'éviter la perte d'information dans la *structure en échelle de multirésolution* (3.5.3), l'ondelette et la fonction de changement d'échelle doivent être appariées.

Note 2 à l'article: La *composante passe-bas* (3.5.1) est obtenue par convolution des données d'entrée avec la fonction de changement d'échelle.

3.5.5

fonction d'ondelette

fonction qui définit la fonction de pondération du filtre différentiel utilisé pour obtenir la composante détail

Note 1 à l'article: La *composante passe-haut* (3.5.2) est obtenue par convolution des données d'entrée avec la fonction d'ondelette.

3.5.6

décimation

action <de l'ondelette> qui échantillonne chaque k ième point dans un profil échantillonné, où k est un entier positif

Note 1 à l'article: Généralement, k est égal à 2.

3.6

schéma de lifting

transformation en ondelette (3.3) rapide qui utilise les *étapes de décomposition*, de *prédiction* et de *mise à jour* (3.6.1), (3.6.2), (3.6.3)

3.6.1

étape de décomposition

décomposition d'un profil en sous-ensembles « pairs » et « impairs » dans lesquels chaque séquence contient moitié moins d'échantillons que dans le profil d'origine

3.6.2

étape de prédiction

calcul qui consiste à prédire le sous-ensemble « impair » à partir du sous-ensemble « pair », puis à soustraire la valeur prédite de la valeur du sous-ensemble impair

3.6.3

étape de mise à jour

calcul qui consiste à mettre à jour le sous-ensemble pair à partir du sous-ensemble impair, afin de préserver autant de moments de profil que possible

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

ISO 16610-29:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e->

(standards.iteh.ai)

4 Description générale des ondelettes

4.1 Généralités

Une ondelette de prédiction cubique déclarée conforme au présent document doit satisfaire au mode opératoire décrit à l'[Annexe A](#).

Une ondelette spline cubique déclarée conforme au présent document doit satisfaire au mode opératoire décrit à l'[Annexe B](#).

NOTE La relation avec le modèle de matrice de filtrage est donnée dans l'[Annexe C](#).

4.2 Utilisation élémentaire des ondelettes

Une analyse par ondelettes consiste à décomposer un profil en une combinaison linéaire d'ondelettes $g_{a,b}(x)$, générées à partir d'une seule ondelette mère [4]. Ce mode opératoire est similaire à l'analyse de Fourier qui décompose un profil en une combinaison linéaire d'ondes sinusoïdales, mais contrairement à l'analyse de Fourier, les ondelettes sont finies dans le domaine spatial et fréquentiel. Elles peuvent donc identifier la position et l'échelle d'un élément dans un profil. En conséquence, elles peuvent décomposer des profils où la structure à petite échelle dans une partie du profil n'a aucun rapport avec la structure d'une autre partie, tels que les changements localisés (comme par exemple les rayures, les défauts ou toute autre irrégularité). Les ondelettes sont également idéales pour les profils non-stationnaires. Essentiellement, les ondelettes décomposent un profil en blocs de construction ayant une forme constante mais des échelles différentes.

4.3 Transformation en ondelettes

La transformation en ondelettes discrètes [5] d'un profil, $s(x)$, donné comme des valeurs de hauteur, $s(x_i)$, à des positions échantillonnées uniformément, $x_i = (i-1) \Delta x$ (où Δx est l'intervalle d'échantillonnage, $i = 1, \dots, n$ et n le nombre de points d'échantillonnage), avec la fonction d'ondelette $g((x-b)/a)$, est donnée par les différences (ou détails), $d_k(i)$, et les données lissées, $s_k(i)$, et une décimation suivante (sous-échantillonnage) pour chaque niveau ou échelon, k , de décomposition. Les données et les différences lissées sont obtenues par convolution du signal avec la fonction de changement d'échelle, h , et l'ondelette g , telle que montrée dans la Formule (2a) et la Formule (2b):

$$s_k(i) = \sum_j h_j s_{k-1}(i-j) \tag{2a}$$

$$d_k(i) = \sum_j g_j s_{k-1}(i-j) \tag{2b}$$

où $j = -m, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, m$; (m est le nombre de coefficients du filtre sur un côté à partir du centre).

La paramètre de dilatation, a , est déterminée par le niveau de décomposition, k , et par sous-échantillonnage des données lissées généralement par un facteur de deux, soit $a = 2^{-k}$ respectivement $a = 1/(2^k \Delta x)$, de sorte que pour chaque échelon de l'échelle de décomposition le nombre de points de données lissées est réduit par un facteur de deux.

La décomposition débute avec les valeurs de signal d'origine, $s(x_i)$, notées $s_0(i)$.

L'ondelette mère de la transformation en ondelette discrète est définie comme un ensemble de coefficients de filtre passe-haut discret, g_j , et la fonction de changement d'échelle est définie comme un ensemble de coefficients de filtre discret passe-bas, h_j . La décimation étant réalisée en conservant une valeur sur deux du lissage et une sur deux du signal différentiel, le nombre total de points de données est conservé, de sorte que $n/2$ de $s_1(i)$ est conservé et $n/2$ de $d_1(i)$ et que la distance entre le i ème et le $(i+1)$ ème est alors $2\Delta x$.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e6985802-3045-40f6-8f6e-305000000000/iso-16610-29-2020>

Pour la deuxième étape de décomposition, l'ensemble des $n/2$ différences, $d_1(i)$, sera conservé jusqu'à la fin mais l'ensemble des $s_1(i)$ est divisé en deux moitiés, de façon à obtenir les valeurs $n/4$ de $s_2(i)$ et $n/4$ de $d_2(i)$. Pour l'étape k ième de décomposition et de décimation, les valeurs $n/2^k$ de $s_k(i)$ et $n/2^k$ de $d_k(i)$ sont évaluées et la distance entre le i ème et le $(i+1)$ ème est alors $2^k \Delta x$.

La dilatation est donc réalisée par sous-échantillonnage, c'est-à-dire par gestion des indices du signal plutôt que par modification des fonctions d'ondelette et d'échelle. Ainsi, pour les transformations en ondelettes discrètes, seuls deux ensembles de coefficients de filtre définissent le filtre d'analyse: l'ensemble $\{h_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$ pour le filtre passe-bas et $\{g_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$ pour le filtre passe-haut.

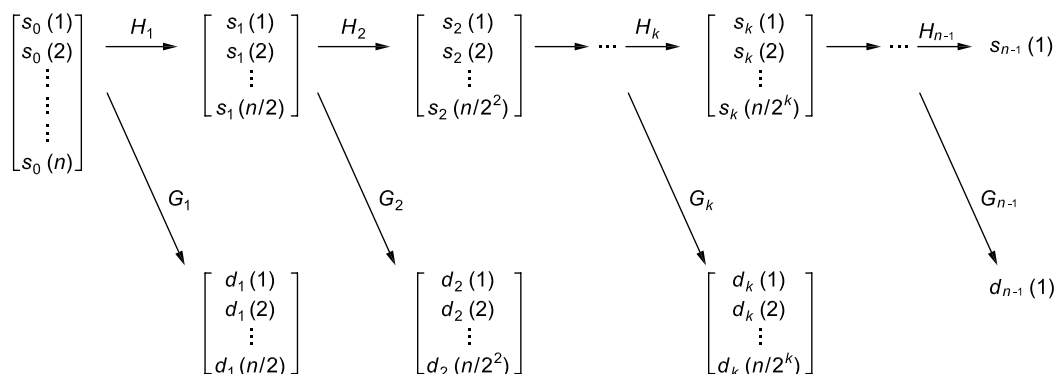


Figure 2 — Structure d'échelle d'une séparation multirésolution en utilisant une transformation en ondelettes discrètes

La **Figure 2** illustre la structure d'échelle des étapes consécutives avec action du filtre passe-bas (lissage) suivies de la décimation, $H_k = \{2^{-k} h_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$, et du filtre passe-haut,